International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)
Peer-Reviewed Journal
ISSN: 2349-6495(P) | 2456-1908(O)
Vol-13, Issue-7; July, 2026
Journal Home Page Available: https://ijaers.com/
Article DOI: https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.137.1

Intensification of Climate Extremes in the Sudanian Zone of Benin: Diagnosis Based on ETCCDI Indices

Intensification des Extrêmes Climatiques Dans le Domaine Soudanien au Bénin: Diagnostic Basé Sur les Indices Etccdi

Marcel Adigbegnon[1], Rafiatou Bamisso[2], Henri S. Totin Vodounon[1,2], Ernest Amoussou [1,2], Basile Assouan Akpovi[3]

[1]Laboratoire de Climatologie et d'EThnoclimatologie (LaboClimET-UP), Université de Parakou, BP 123 Parakou, Bénin
totinsourouhv@gmail.com; adigbegnonmarcel@gmail.com
[2]Laboratoire Pierre PAGNEY, Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi, 03 BP 1122 Cotonou, Bénin
rafiatou.bamisso@gmail.com; ernestamoussou@gmail.com
[3]Agence Nationale de la Météorologie du Bénin (METEO-BENIN), Cotonou, Bénin assouanbasile01@gmail.com

Received: 29 May 2026,

Received in revised form: 25 June 2026,

Accepted: 01 July 2026,

Available online: 08 July 2026

©2026 The Author(s). Published by AI Publication. This is an open-access article under the CC BY license

(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

***Keywords*— Climate indices, Extremes, Tropical nights, Hot nights, Sudanian domain.**

***Mots clés*— Indices climatiques, extrêmes, nuits tropicales, nuits chaudes, domaine soudanien.**

***Abstract*— *Analysis of ETCCDI climate indices at stations in the Sudanian zone of Benin revealed an intensification of pluviometric and thermometric extremes. The dataset comprised daily rainfall and temperature (maximum and minimum) records from 22 rain-gauge stations and two synoptic stations over the period 1981–2025. Extreme rainfall and temperature events were determined using XLSTAT 2018 for the computation of 20 ETCCDI indices derived from Rclimdex 2.0, coupled with the Mann–Kendall trend test. A marked spatial variability in annual precipitation (PRCPTOT) was evidenced, with totals ranging from 750 to 2,000 mm yr⁻¹; the highest accumulations were observed in the southern sector (Savalou, Glazoué, Ouèssè), while the lowest values (746–913 mm) were recorded in the extreme north (Karimama and Malanville). Extreme indices further corroborate this intensification: RX5day reached 90–110 mm, R99p exceeded 115 mm, R95p ranged between 60 and 100 mm, while R1day surpassed 35 mm day⁻¹ and the Simple Daily Intensity Index (SDII) exceeded 9 mm day⁻¹ in the southeastern part. Analysis of temperature extremes at Parakou indicated significant increases in tropical nights (TR = 2.15; p = 0.03) and warm nights (TN90p = 4.13; p < 0.001), alongside rising extreme maximum values (TXX = 2.18; p = 0.03; TNX = 2.11; p = 0.03). Furthermore, cold spell duration indices (CSDI) exhibited a significant decline (Z = −3.75; p < 0.001). In contrast, at Kandi, the trends were more moderate, with an increase in warm nights (TN90p = 2.86; p = 0.004) and a significant decrease in extreme minima (TNN = −2.65; p = 0.008). These climatic and bioclimatic trends underscore the**

vulnerability of human health and point toward the need for sustainable, resilient adaptation strategies for local populations.

Résumé—*L'analyse des indices climatiques ETCCDI au niveau des stations du domaine soudanien au Bénin a montré l'intensification des extrêmes pluviométriques et thermométriques. Les données utilisées sont les relevés de pluies et de températures (maximales et minimales) journalières de 22 postes pluviométriques et de deux stations synoptiques sur la période de 1981-2025. Les extrêmes de pluies et de température ont été déterminés à l'aide du logiciel XLSTAT 2018 pour le calcul de 20 indices de l'ETCCDI à partir de Rclimdex 2.0 et du test de tendance de Mann-Kendall. Une forte variabilité spatiale des précipitations annuelles (PRCPTOT) est mise en évidence, avec des cumuls de 750 à 2 000 mm/an, les plus élevés observés au sud (Savalou, Glazoué, Ouèssè) et de 746-913 mm, les plus faibles à l'extrême nord (Karimama et Malanville). Les indices extrêmes confirment cette intensification : RX5day atteint 90-110 mm, R99p dépasse 115 mm, R95p varie entre 60 et 100 mm, tandis que R1day dépasse 35 mm/jour et que le SDII atteint plus de 9 mm/jour au sud-est. L'analyse des extrêmes de température a montré qu'à Parakou, les indices révèlent une hausse significative des nuits tropicales (TR = 2,15 ; p = 0,03) et des nuits chaudes (TN90p = 4,13 ; p < 0,001), accompagnée d'une augmentation des valeurs maximales extrêmes (TXX = 2,18 ; p = 0,03 ; TNX = 2,11 ; p = 0,03). En outre, les vagues de froid (CSDI) ont baissé significativement (Z = -3,75 ; p < 0,001). Par contre, à Kandi, l'évolution est plus modérée avec la hausse des nuits chaudes (TN90p = 2,86 ; p = 0,004) et la baisse significative des minima extrêmes (TNN = -2,65 ; p = 0,008). Cette tendance climatique et bioclimatique renseigne sur la vulnérabilité de la santé humaine et oriente vers les perspectives de stratégies résilientes durables des populations.*

I. INTRODUCTION

Les catastrophes climatiques et météorologiques ont des conséquences humanitaires massives partout dans le monde et ont directement touché 1,7 milliard de personnes durant la seule décennie écoulée (FISCRCR, 2020, p. 4). Elles sont entraînées par une intensification des événements climatiques extrêmes, qui constituent un enjeu majeur pour les sociétés humaines et les systèmes écologiques de tous les pays du monde. Ces événements sont liés à la hausse continue des températures mondiales qui entraîne une augmentation de la fréquence et de l'intensité des phénomènes météorologiques extrêmes, notamment des vagues de chaleur, des sécheresses, des incendies de forêt, des tempêtes et des inondations, entraînant des pertes humaines et économiques considérables (Future Earth/The Earth League/PMRC, 2025, p. 9). De plus, les phénomènes de précipitations extrêmes vont très probablement devenir plus intenses et plus fréquents, dès la fin de ce siècle, sur la plupart des terres émergées, situées à des latitudes moyennes et dans les régions tropicales humides (Nations Unies, 2015, p. 1).

En Afrique, les modifications météorologiques (hausse des températures, variation des précipitations, hausse du niveau de la mer) se traduisent par l'augmentation du nombre d'évènements climatiques extrêmes (inondations, sécheresses, cyclones, incendies …) (V. Steinmetz, 2024, p. 64). En effet, l'analyse des extrêmes à l'échelle de bassins ou de sous-régions contribue à approfondir la compréhension des mécanismes climatiques et de leurs impacts. Des recherches récentes à l'échelle de l'Afrique de l'Ouest ont souligné l'influence des changements climatiques sur les régimes d'inondation et les impacts croissants des pluies extrêmes, notamment en lien avec des oscillations océanographiques et des anomalies thermiques sur l'Atlantique tropical (S. B. Diop *et al*., 2025, p. 3161). Ainsi, pour analyser les événements climatiques extrêmes, l'Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI), a défini 27 indices des changements climatiques. Selon E. Obada *et al*. (2021, p. 1), ces indices

offrent un cadre standardisé pour quantifier ces phénomènes à partir de données quotidiennes observées, permettant ainsi de décrire rigoureusement les tendances des événements extrêmes tels que les fortes précipitations et les longues périodes de sécheresse.

Au Bénin, la variabilité accrue du climat observée ces dernières décennies se manifeste notamment par des fluctuations importantes dans la fréquence, l'intensité et la durée des pluies extrêmes, avec des conséquences socio-économiques significatives (H. V. Sounouke *et al*., 2022, p. 212). En outre, le rythme sans précédent du réchauffement de la surface des océans et l'intensification des vagues de chaleur marines entraînent de graves pertes écologiques, érodent les moyens de subsistance des collectivités côtières et aggravent les risques liés aux phénomènes météorologiques extrêmes, tout en affaiblissant le rôle de l'océan en tant que puits de carbone. Une meilleure compréhension de la nature statistique et physique des événements climatiques extrêmes est une étape nécessaire avant de pouvoir répondre aux interrogations qui sont en lien avec ces indices (H. Yarou, 2021, p. 1). D. H. Koumassi (2025, p. 1) a utilisé sept indices ETCCDI pour quantifier l'intensité, la fréquence et la variabilité des pluies extrêmes entre 1961 et 2020 à Ouèdèmè (commune de Glazoué). Cette étude vise à établir le diagnostic de l'intensification des extrêmes climatiques dans le domaine soudanien du Bénin.

II. DONNÉES ET MÉTHODES

2.1. Caractéristiques biophysiques et humaines du domaine soudanien au Bénin

La structure du sol du domaine soudanien au Bénin est de type ferrugineux tropicaux faiblement concrétionnés. Son écologie du paysage est caractérisée par une mosaïque d'écosystèmes naturels et anthropisés, influencée à la fois par le climat, les activités humaines et la topographie. Le réseau hydrographique de la zone d'étude, formé des affluents du fleuve Niger (Alibori, Mékrou, Sota et l'Ouémé) est un atout pour le renforcement de la charge hygrométrique de l'air, les processus de condensation et de pluviogènes (B. A. Sare *et al*., 2015, p. 605). Dans le secteur d'étude, la population a varié de 731 445 habitants en 1979 à 1 180 592 habitants en 1992 et de 1 801 938 habitants en 2002. Cette population est passée à 3 401 547 habitants en 2022 selon les projections de l'INSTaD. Le domaine soudanien au Bénin est compris entre 7°47' et 12°24' de latitudes nord et 0°46' et 3°51' des longitudes est (figure 1) et regroupe cinq départements subdivisés en 26 communes.

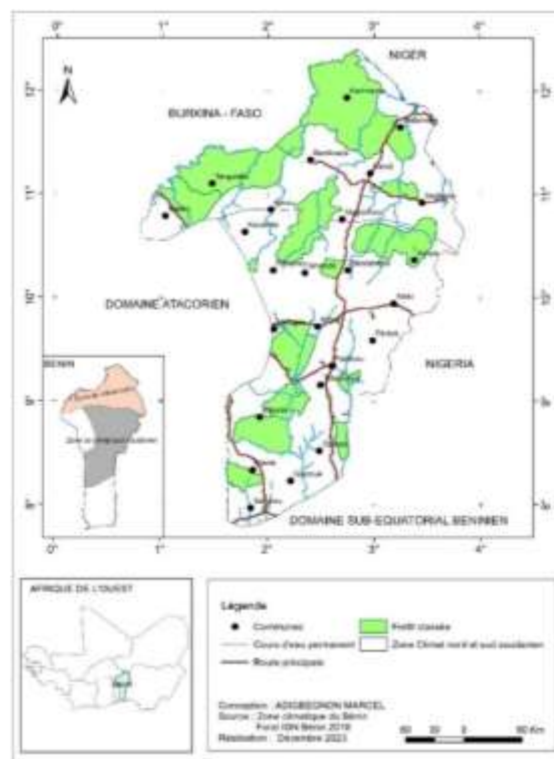


Fig.1 : Situation géographique du domaine soudanien au Bénin

Le domaine soudanien au Bénin s'étend sur une superficie de 80274,10 km², soit environ 69,94 % du territoire national et prend en compte l'ensemble de toutes les communes des départements du Borgou et de l'Alibori. A ces localités s'ajoutent quatre communes du département de l'Atacora (Matéri, Tanguiéta, Kérou, Pehunco), deux communes du département de la Donga (Bassila et trois villages de Djougou) et quatre communes du département des Collines (Ouèssè, Bantè et Savalou et Glazoué). Il est limité au Nord par le Niger, au Nord-Ouest par le Burkina-Faso dans les territoires du climat sahélien, au sud par le domaine subéquatorial, au Sud-ouest par le Togo, à l'ouest par le climat atacorien, et à l'est par le Nigeria. Le secteur d'étude est dominé par des plaines et composée de faibles ondulations dont la pente est inférieure à 2 % (B. A. Sare *et al*., 2015, p. 605).

2.2. Données

Les données utilisées sont les précipitations et températures (maximales et minimales) de deux stations synoptiques (Parakou et Kandi) et les précipitations de 21 postes pluviométriques (Bantè, Bassila, Djougou, Glazoué, Gogounou, Kalalé, Kerou, Karimama, Kouandé, Malanville, Ndali, Matéri, Pehounko, Pèrèrè, Savalou, Nikki, Ouèssè, Segbana, Sinendé, Tchaourou et Tanguiéta) au pas de temps journaliers sur la période de 1981-2025. Ces données sont issues de la base des observations

quotidiennes de Météo-Bénin. Elles ont été utilisées pour calculés 20 indices (81,48 %) sur les 27 définis par l'OMM dans le cadre du "CC/CLIVAR Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices (ETCCDMI) (M. Adamou *et al*., 2022, p. 64) et déterminer les tendances climatiques à partir XLSTAT 2018 et du test de Mann-Kendall.

2.3. Méthodes

2.3.1. Calcul des indices ETCCDI

Le calcul des indices a été fait à partir du logiciel de statistiques RStudio, version 2026.1.0.392 sous R, version 4.5.2 (2025-10-31 ucrt), téléchargé respectivement sur les sites https://posit.co/download/rstudio-desktop/ et https://cran.r-project.org/. Pour le calcul des indices, le logiciel RStudio a service de source pour ouvrir RClimDex 2.0 qui a permis de caractériser l'intensité, la durée, la fréquence et la quantité des événements extrêmes. Il utilise uniquement les données de pluies et de températures maximales et minimales journalières. Ainsi, 20 indices sur les 27 ont été retenus et classés en indices d'intensité, de durée, de fréquence et de quantité (tableau I).

Tableau I : 20 indices des extrêmes de précipitations

Paramètre	Intensité	Durée	Fréquence	Total
Pluie	RX1day, RX5day, SDII, R95p, R99p	CDD, CWD	R1mm, R10mm, R20mm	prcptot
Température	TXx, TNx, TXn, TNn	WSDI, CSDI	SU, TR, TX90p, TN90p	-

Source *: G. R. Kiki, 2020, p. 32*

Ils ont été retenus sur des critères basés sur la pertinence dans les études régionales, la reconnaissance internationale, la capacité à représenter les différentes dimensions des événements climatiques extrêmes (intensité, fréquence, durée et total) et la compatibilité avec les données journalières disponibles. De plus, ces indices ont été utilisés dans plusieurs études en Afrique (S. Filahi *et al*., 2015, p. 465 ; A. Bedoum *et al*, 2017, p. 48 ; K. M. Kouassi *et al*., 2018, p.138 ; I. Salifou, 2020, p. 20 et M. Massouangui-Kifouala, 2022, p. 6) et au Bénin (G. R. Kiki, 2020, p. 32 ; H. Yarou, 2021, p. 32 ; M. Adamou *et al*, 2022, p. 65 ; M. Ouinakonhan *et al*., 2025, p. 437). Ce choix permet une analyse complète des dynamiques pluviométriques et thermiques dans le contexte de la variabilité climatique au Bénin. Par ailleurs, étant donné que la méthodologie adoptée exige une période de référence, la dernière normale 1991-2020 définie par le GIEC a été considérée comme période de référence pour les analyses RClimDex 2.0. Ces indices sont utilisés pour caractériser les tendances climatiques et spécifiquement les événements (B. Sahli, 2024, p. 64) climatiques extrêmes dans le domaine soudanien au Bénin.

2.3.2. Étude de la tendance par le test de Mann Kendall

Pour évaluer la signification statistique des tendances citées auparavant, le test de Mann Kendall a été appliqué avec un niveau de confiance de 95 % (B. Sahli, 2024, p. 21 et D. Dumas et S. Rome, 2009, p. 147). C'est un test non paramétrique qui est largement utilisé dans les séries chronologiques hydrologiques et climatologiques (F. B. Allechy *et al*., 2021, p. 98). Ainsi, le rapport est mesuré à partir de la statistique S de Mann-Kendall qui s'obtient par la comparaison deux à deux de l'observation de l'année k à toute donnée d'année postérieure j (j > k). Cette statistique S a été obtenue sur la base de la formule :

$$S = \sum_{k=1}^{n-1}\sum_{j=k+1}^{n} sgn(X_j - X_k) \; ou \begin{cases} sgn(X_j - X_k) = 1 \; si \; X_j - X_k > 0 \\ sgn(X_j - X_k) = 1 \; si \; X_j - X_k = 0 \\ sgn(X_j - X_k) = 1 \; si \; X_j - X_k < 0 \end{cases}$$

La statistique S représente donc la différence entre le nombre de différences positives et négatives. En présence de valeurs identiques dans la série, la variance de S peut être défini (A. G. Bi Tié *et al*., 2012, p. 1070) à partir de l'équation ci-dessous :

$$Var(S) = \frac{1}{18}\left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^{q} t_p(t_p - 1)(2t_p + 5) \right]$$

Avec tp le nombre de fois qu'un groupe de p observations identiques est rencontré dans une série chronologique et q le plus grand nombre d'observations incluses dans un groupe d'observations identiques (LCSQA, 2016, p. 1). La distribution Z permet d'évaluer la significativité statistique de la tendance à partir de la formule suivante :

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{var(S)}} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{var(S)}} & \text{si } S < 0 \end{cases} \quad \text{ou} \quad \begin{cases} Z > 0 \text{ tendance monotone croissante} \\ Z < 0 \text{ tendance monotone décroissante} \end{cases}$$

Cette analyse a servi à mieux analyser la fréquence des évènements climatiques extrêmes durant les quarante-cinq (45) dernières années. A cet effet, le test permet de faire le choix entre les deux hypothèses à partir d'un niveau de confiance ou niveau de signification noté α. Ce niveau de signification représente la probabilité pour que la valeur du test statistique soit supérieure ou égale à la valeur observée lorsque l'hypothèse nulle H0 est vraie (I. Toure *et al.,* 2022, p. 126).

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Variabilité climatique interannuelle dans le domaine soudanien au Bénin

3.1.1. Evolution des pluies mensuelles régionalisées

La figure 2 montre que les pluies mensuelles extrêmes régionalisées sont fortement concentrées entre avril et octobre, période de la saison pluvieuse dans le domaine soudanien.

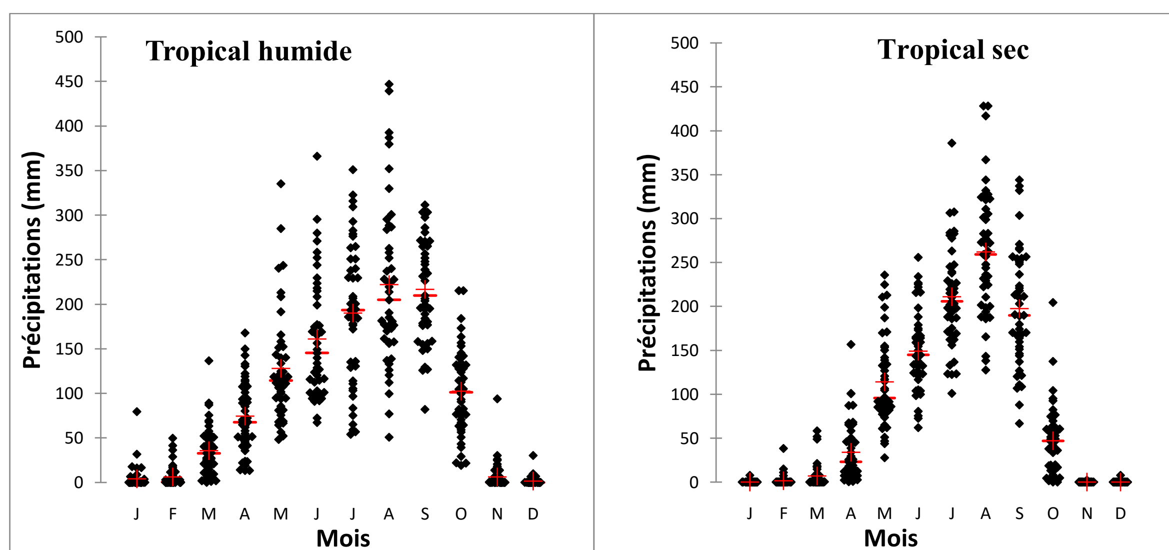


Fig.2 : Evolution des pluies moyennes extrêmes régionalisées dans le secteur d'étude

Dans le sous-domaine tropical humide, les hauteurs moyennes passent d'environ 35 mm en mars à 70 mm en avril, puis augmentent progressivement à 120 mm en mai, 160 mm en juin et près de 200 mm en juillet, avec un maximum d'environ 220 mm en août. Cette forte pluviométrie s'explique par l'installation complète de la mousson ouest-africaine et la remontée du front intertropical qui favorisent l'apport d'humidité. Selon G. Chagnaud (2020, p. 1), la mousson d'Afrique de l'Ouest est à l'origine du régime des pluies au Sahel, région semi-aride comprise entre le désert du Sahara au Nord et les forêts équatoriales au Sud. Après août, les pluies diminuent progressivement à 210 mm en septembre puis 100 mm en octobre, marquant le retrait progressif de la saison humide. Dans le sous-domaine tropical sec, la dynamique est similaire mais avec une intensité plus forte en cœur de saison. Les moyennes passent de 25 mm en avril à 110 mm en mai, 150 mm en juin, 210 mm en juillet et à environ 260 mm en août, avant de chuter à 190 mm en septembre et 50 mm en octobre. Les extrêmes observés dépassent 420 mm, traduisant une variabilité pluviométrique plus marquée et des épisodes convectifs plus intenses. De novembre à février, les précipitations restent presque nulles dans les deux cas (<10 mm), sous l'influence dominante de l'harmattan sec et continental.

3.1.2. Evolution des températures mensuelles dans le domaine soudanien au Bénin

La figure 3 présente l'évolution mensuelle des températures extrêmes dans le domaine soudanien du Bénin entre 1981 et 2025.

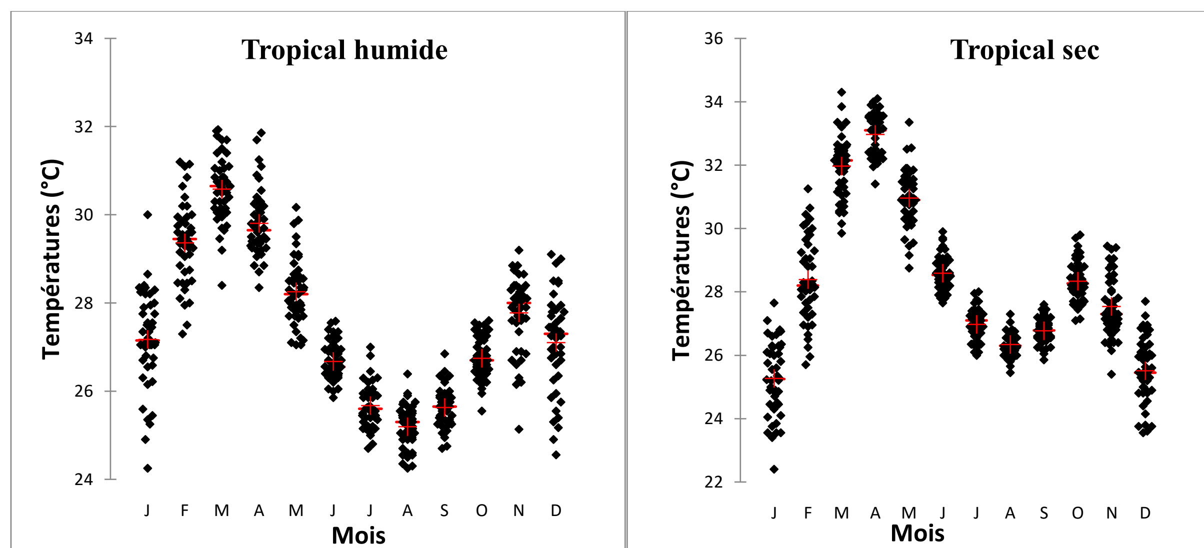


Fig.3 : Evolution des températures extrêmes dans le domaine soudanien au Bénin

Les données montrent une évolution contrastée des températures moyennes dans le domaine soudanien du Bénin (figure 3). Dans le régime tropical humide, les valeurs thermiques sont comprises entre 24 °C en janvier et 28 °C en avril-mai. Ces valeurs passent à 25 °C en août-septembre sous l'effet des pluies. En milieu tropical sec, les amplitudes sont plus fortes, avec des températures proches de 22-23 °C en janvier, qui atteignent 33-34 °C en avril. Elles passent à 26-27 °C en août et affecte négativement les secteurs de développement du pays que sont l'agriculture, les ressources en eau, l'énergie, la santé, les infrastructures, l'aménagement urbain, le tourisme et la foresterie (MCVDD, 2022, p. 4). La figure 4 met en évidence la tendance des températures annuelles dans le domaine soudanien du Bénin entre 1981 et 2025 et les différences thermiques en milieu tropical humide et tropical sec.

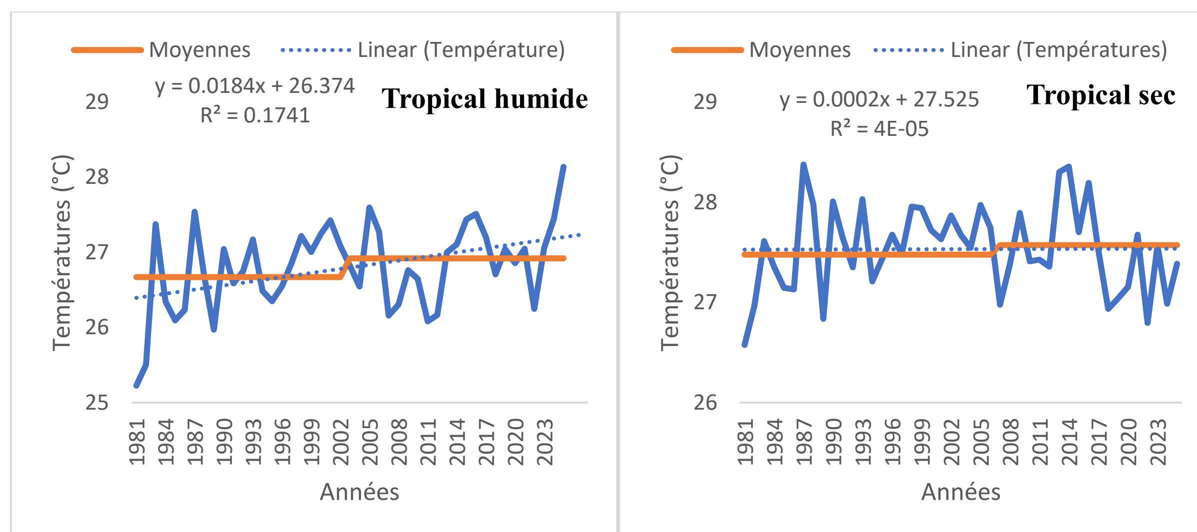


Fig.4 : Variabilité des pluies annuelles dans le domaine soudanien au Bénin entre 1981 et 2025

En milieu tropical humide, la tendance linéaire révèle une hausse moyenne de 0,018 °C/an, soit près de 0,7 °C en 40 ans, avec une température initiale estimée à 26,4 °C en 1981. Le coefficient de détermination (R^2 = 0,17) traduit une variabilité notable, mais confirme un réchauffement progressif. À l'inverse, en milieu tropical sec, il s'observe une pente quasi nulle (0,0002 °C par an) et un R^2 insignifiant (4×10^{-5}). Cela indique une stabilité apparente autour de 27,5 °C. Cette divergence souligne l'influence des précipitations et de la couverture nuageuse dans le régime humide, qui accentuent la variabilité interannuelle, tandis que le régime sec reste moins affecté. Ces constats rappellent la vulnérabilité du domaine soudanien aux changements climatiques, avec des implications directes sur

l'agriculture, la gestion de l'eau et le confort thermique des populations.

3.2. Évolution des extrêmes climatiques dans le domaine soudanien au Bénin

3.2.1. Analyse de l'évolution des indices des extrêmes pluviométriques

3.2.1.1. Intensité des pluies extrêmes (PRCPTOT, RX1day, RX5day, SDII, R95p et R99p)

La figure 5 révèle une forte variabilité spatio-temporelle des indices d'intensité des pluies extrêmes dans le secteur étudié.

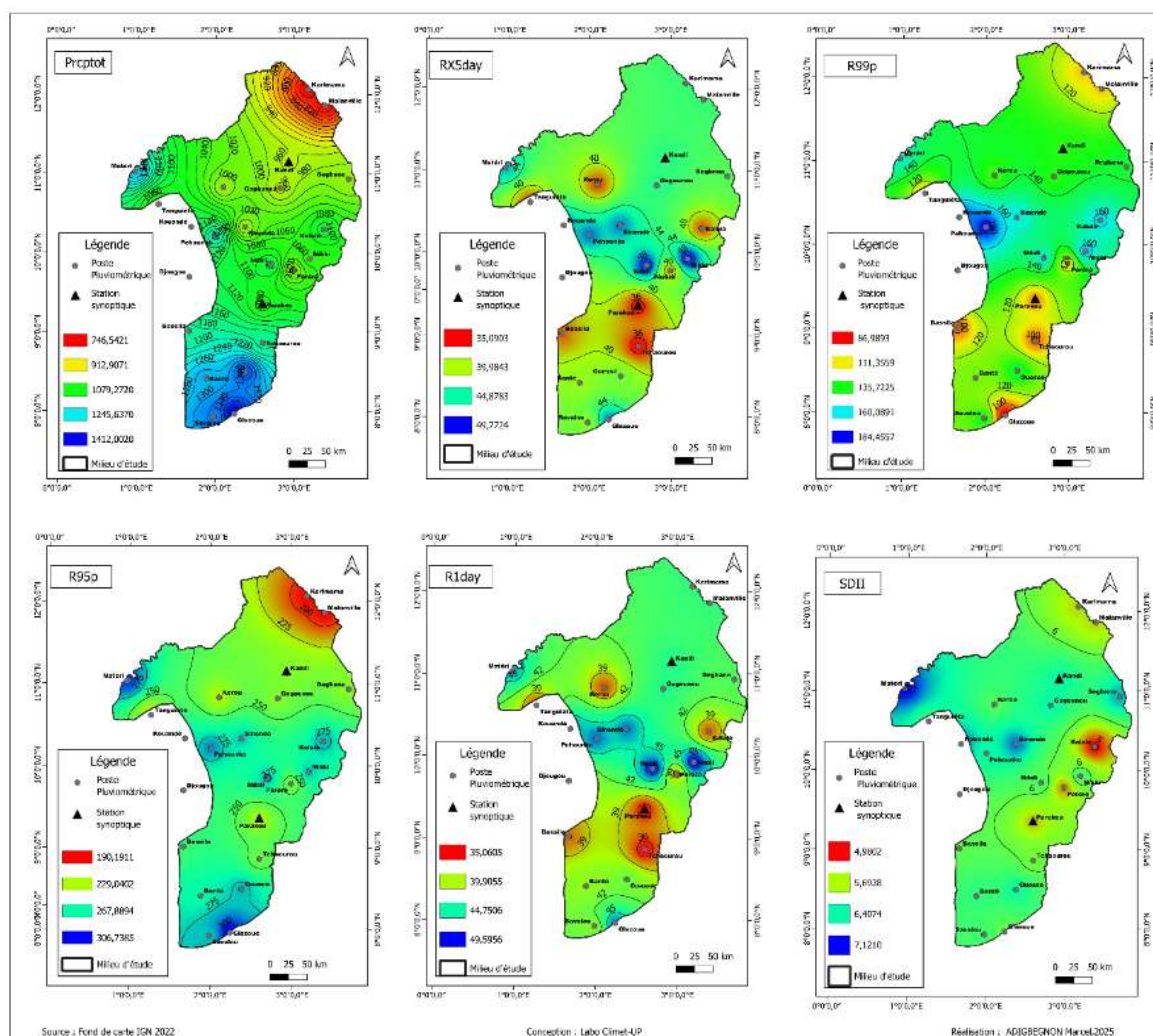


Fig.5 : Variabilité spatio-temporelle des indices d'intensité des pluies extrêmes dans le secteur

Le Prcptot présente des variations entre 750 et 2 000 mm/an. En effet, les plus fortes hauteurs ont été observées au sud, notamment Savalou, Glazoué et Ouèssè, où les cumuls ont dépassé 1750 à 2000 mm, tandis que l'extrême-nord a enregistré les valeurs plus faibles, comprises entre 746,54 et 912,90 mm. Selon la DGEC (2022, p. 3), les précipitations moyennes annuelles oscillent entre 700 mm (extrême nord) à 1500 mm (extrême sud-est). Cette importance des pluies au sud s'explique par l'influence des flux de mousson et par les effets locaux du relief et de la couverture végétale qui favorisent la convection. L'indice RX5day montre que les pluies maximales sur 5 jours atteignent localement 90 à 110 mm au centre et au sud-est. Cela traduit des épisodes pluvieux très concentrés entre 1981 et 2025. De même, le R99p présente des extrêmes supérieurs à 115 mm et indique des pluies exceptionnelles susceptibles de saturer rapidement les sols. Le R95p variant entre 60 et 100 mm confirme la fréquence des fortes pluies dans le secteur d'étude. Ces variations favorisent le ruissellement intense, car l'eau pluviale parvient à la surface du sol sur une courte durée sans possibilité d'infiltration suffisante. Le R1day atteint également des maximas supérieurs à 35 mm/jour, tandis que le SDII dépasse localement 9 mm/jour, surtout dans les parties est et sud-est. Ces fortes intensités

journalières augmentent le risque d'érosion, d'engorgement des bas-fonds et d'inondation des zones habitées. À l'inverse, le centre et nord-ouest présentent des valeurs plus faibles (4 à 6 mm/jour pour le SDII) et traduisent une moindre agressivité pluviométrique. Ainsi, les risques hydro-climatiques auxquels devraient face le secteur d'étude, notamment le sud sont les inondations (92,33 %), l'érosion (89,64 %), la sécheresse (57,11 %), la chaleur excessive (40,21 %) et les vents violents (33,22 %) (A. N. A. Arouna *et al.*, 2024, p. 498).

3.2.1.2. Sécheresses prolongées (CDD et CWD)

La variabilité spatio-temporelle des indices de sécheresses prolongées (CDD et CWD) dans le domaine soudanien du Bénin a été présentée par la figure 6.

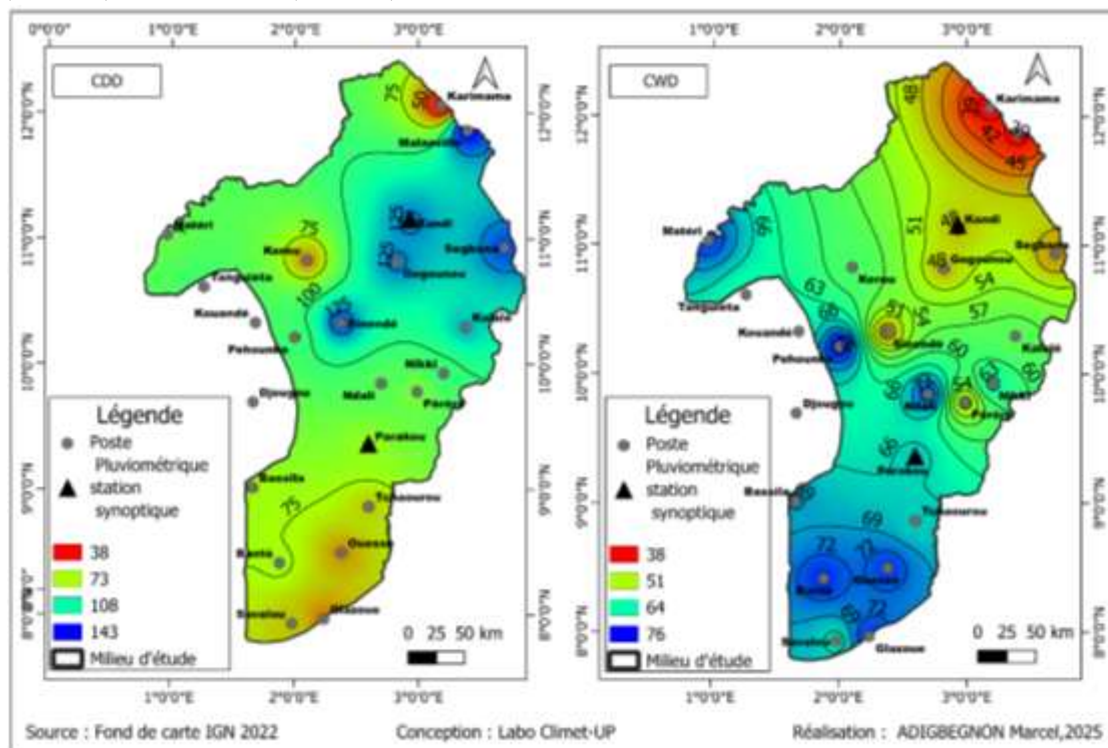


Fig.6 : Variabilité spatio-temporelle des indices de durée des pluies extrêmes

L'indice CDD (jours secs consécutifs) atteint des valeurs extrêmes de 143 jours dans le nord, notamment à Karimama et Kandi, traduisant une persistance de près de cinq mois sans pluie. À Gogounou et Banikoara, les valeurs oscillent entre 110 et 125 jours. Au sud (Parakou et Tchaourou), les CDD diminuent à 40-60 jours, soit environ deux mois secs, ce qui traduit une meilleure répartition des précipitations. L'indice CWD (jours pluvieux consécutifs) reste globalement faible, avec des maximas de 69 jours dans les zones méridionales, contre seulement 45-50 jours dans le nord. Cette différence montre que les séquences pluvieuses sont plus longues et régulières au sud, mais très limitées au nord. L'écart entre 143 jours secs et 69 jours pluvieux illustre la sévérité des contrastes climatiques régionaux. Ces résultats soulignent que le nord subit des déficits hydriques prolongés qui résultent de la précocité de la fin de la saison des pluies qui se traduit par une incidence négative sur la productivité agricole (S. Ahodjide *et al.*, 2024, p. 194). L'ensemble du domaine soudanien enregistre entre 80 et 100 jours secs consécutifs, contre 55 à 65 jours pluvieux en moyenne et est caractérisé par une dominance des périodes de déficit hydrique. Cette variabilité impose une gestion différenciée des ressources en eau et une planification agricole adaptée aux réalités locales.

3.2.1.3. Fréquence des précipitations extrêmes (R1mm, R10mm et R20mm)

L'analyse des indices R1mm, R10mm et R20mm a permis d'analyser la variabilité spatio-temporelle des fréquences de précipitations extrêmes dans le secteur d'étude (figure 7).

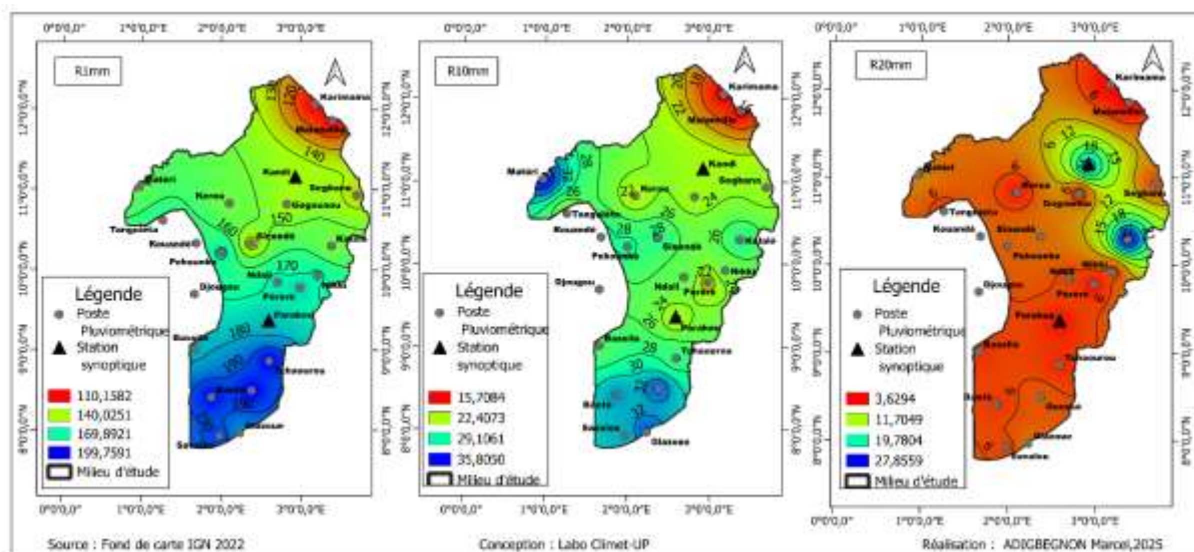


Fig.7 : Variabilité spatio-temporelle des indices de fréquence des pluies extrêmes

L'indice R1mm montre une forte occurrence des jours pluvieux supérieurs à 1 mm, avec des valeurs dépassant 190 jours/an dans certaines zones méridionales (Savè, Savalou), contre environ 110-130 jours/an dans le nord notamment à Kandi et Karimama. L'indice R10mm traduit la fréquence des pluies modérées à fortes : les maximas atteignent plus de 35 jours/an dans les zones centrales (Parakou, Natitingou), tandis que les régions du nord enregistrent des valeurs plus faibles, autour de 15-20 jours/an. Enfin, l'indice R20mm, indicateur des pluies très intenses, révèle des disparités encore plus nettes : certaines localités méridionales dépassent 25 jours/an, alors que les zones septentrionales restent limitées à 3-10 jours/an. Les jours extrêmement pluvieux diminuent sur l'ensemble des zones à l'exception comme l'extrême-nord (sub-sahélienne) où il s'observe une augmentation des événements fortement pluvieux (R. G. Kiki, 2020, p. 24). Cette distribution spatiale confirme que le sud et le centre bénéficient d'une pluviométrie plus abondante et régulière, avec une fréquence élevée d'événements extrêmes, tandis que le nord demeure plus sec et moins exposé aux fortes pluies. Selon G. A. Kouton (2022, p. 88), ce constat peut s'expliquer par l'influence qu'a le relief sur les manifestations pluvieuses dans le sud-ouest de la région d'étude. Ces contrastes ont des implications directes : au sud, la récurrence des pluies intenses accroît les risques d'inondations et d'érosion, alors qu'au nord, la rareté des événements extrêmes accentue la vulnérabilité aux sécheresses.

3.2.2. Analyse des extrêmes de températures

3.2.2.1. Indices d'intensité de température extrême (TXx, TNx, TXn et TXx)

L'analyse des indices d'intensité de température ont permis d'évaluer la répartition spatiale des fortes chaleurs et des extrêmes thermiques froids et d'identifier les zones les plus exposées aux vagues de chaleur, aux nuits chaudes et aux variations thermiques marquées (figure 8).

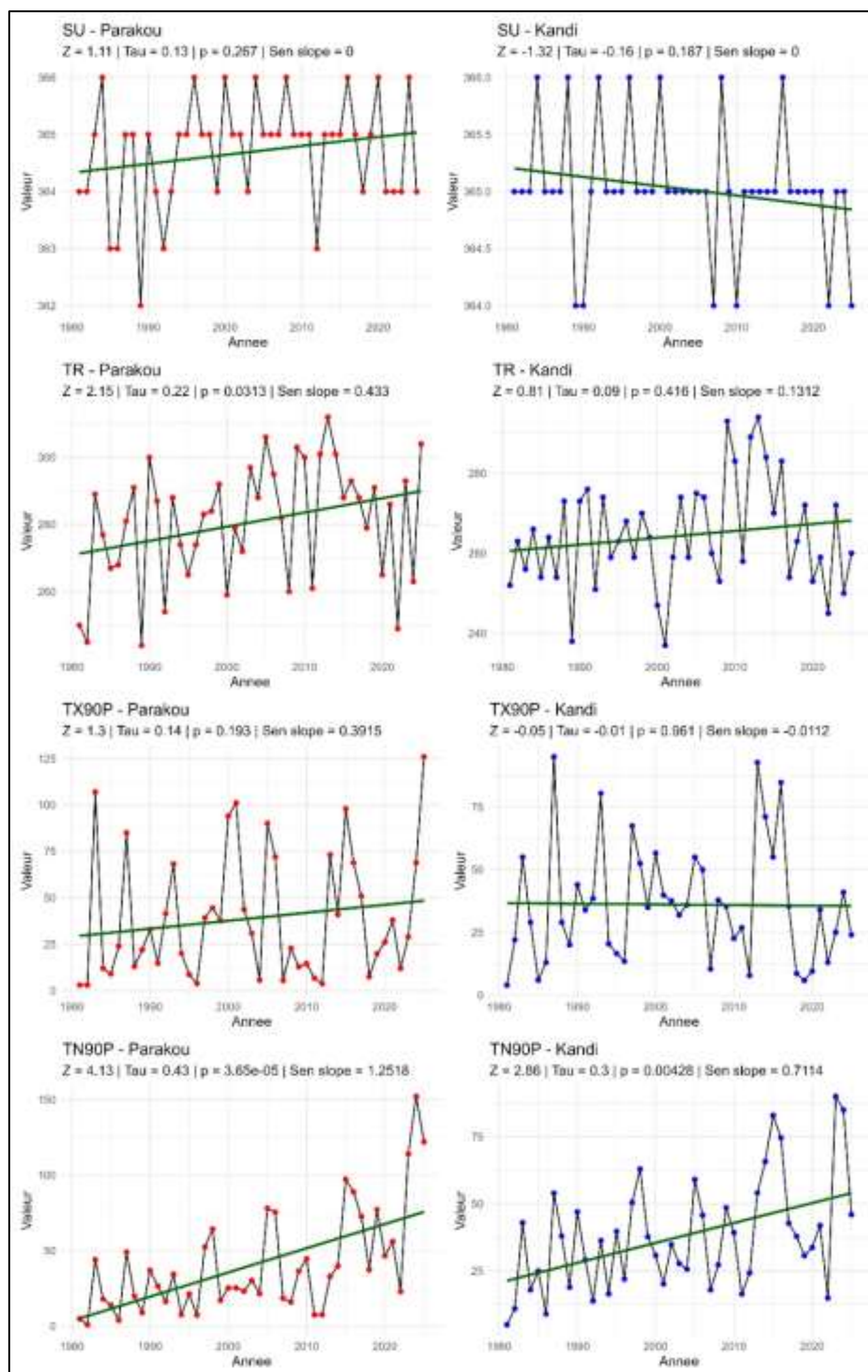


Fig.8 : Tendances et significativités des indices d'intensité de températures extrêmes

À Parakou, l'indice SU (jours chauds consécutifs) présente une tendance légèrement à la hausse (Z = 1,11 ; p = 0,27) mais non significative. Cependant, les valeurs de l'indice TR (nuits tropicales) indiquent augmentation significative (Z = 2,15 ; p = 0,03 ; Sen slope = 0,43) des nuits chaudes. Il s'observe une stabilité des extrêmes diurnes, puisque l'indice TX90P (jours chauds au-dessus du 90e percentile) est non significatif (Z = 1,30 ; p = 0,19). Par contre, TN90P (nuits chaudes au-dessus du 90e percentile) montre une tendance très significative (Z = 4,13 ; p < 0,001 ; Sen slope = 1,25) marquée par une forte intensification des nuits chaudes. À Kandi, les tendances sont plus modérées, avec l'indice SU qui enregistre une tendance non significative à la baisse (Z = -1,32 ; p = 0,19) des jours chauds consécutifs entre 1981 et 2025. Dans le secteur nord-soudanien, TR indique hausse non significative (Z = 0,81 ; p = 0,41 ; Sen

slope = 0,13) des nuits tropicales. De plus, les valeurs de TX90P (Z = -0,05 ; p = 0,96) montrent une stabilité des le temps des extrêmes diurnes. Enfin, TN90P est significatif (Z = 2,86 ; p = 0,004 ; Sen slope = 0,71), traduit une augmentation des nuits chaudes, mais moins marquée qu'à Parakou. Dans l'ensemble du secteur d'étude, de 1981 à 2025, le sud, secteur à climat tropical humide est caractérisé par l'intensification des nuits tropicales et nuits chaudes, tandis que le nord, secteur à climat tropical sec est dominé par l'augmentation des nuits chaudes. Ces différences de tendance montrent que le sud, plus humide, est davantage affecté par le réchauffement nocturne, alors que le nord, plus sec, conserve une stabilité apparente des extrêmes diurnes.

3.2.2.2. Indices de durée de températures extrêmes (WSDI et CSDI)

L'analyse des indices de sécheresse montre des comportements contrastés entre Parakou et Kandi (figure 9).

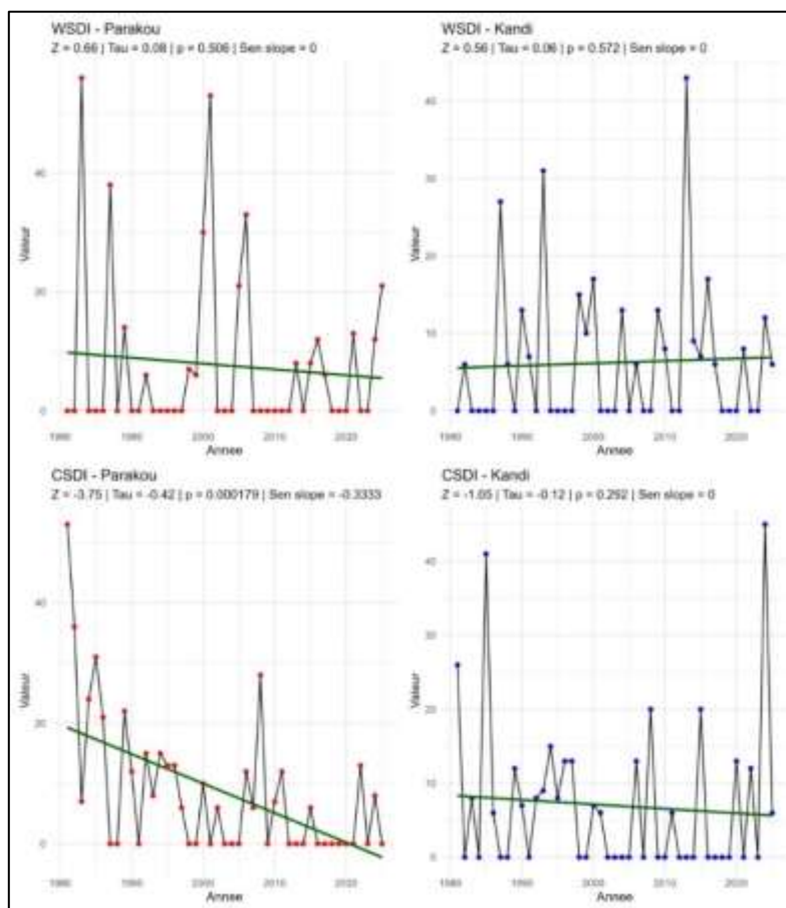


Fig.9 : Tendances et significativités des indices durée de températures extrêmes

Le WSDI (durée des vagues de chaleur) présente une légère baisse à Parakou avec une pente de Sen de -0,33 et des pics atteignant près de 50 jours en 1984 et 2001, mais cette tendance reste non significative (p = 0,506). À Kandi, le WSDI reste globalement stable avec une pente nulle (Sen slope = 0) malgré un maximum d'environ 43 jours observé vers 2013 (p = 0,572), traduisant une irrégularité des vagues de chaleur sans tendance statistiquement marquée. En revanche, le CSDI (durée des vagues de froid) montre une diminution plus nette, surtout à Parakou où la pente de Sen est de -0,33 avec un test significatif (Z = -3,75 ; p = 0,000179). Les valeurs passent de plus de 50 jours au début des années 1980 à presque 0 jour après 2015, ce qui indique une forte raréfaction des épisodes froids. À Kandi, la baisse est plus faible et non significative (Z = -1,05 ; p = 0,292), avec des pics isolés atteignant 45 jours en fin de série. Cette évolution traduit un réchauffement progressif du climat, marqué par la disparition des vagues de froid et la persistance plus irrégulière des vagues de chaleur.

3.2.2.3. Indices de fréquence de température extrême (SU, TR, TX90p et TN90p)

Les indices de fréquence des températures extrêmes (SU, TR, TX90p et TN90p) sont analysés afin de mettre en évidence leurs évolutions au cours de 1981 à 2025 (figure 10).

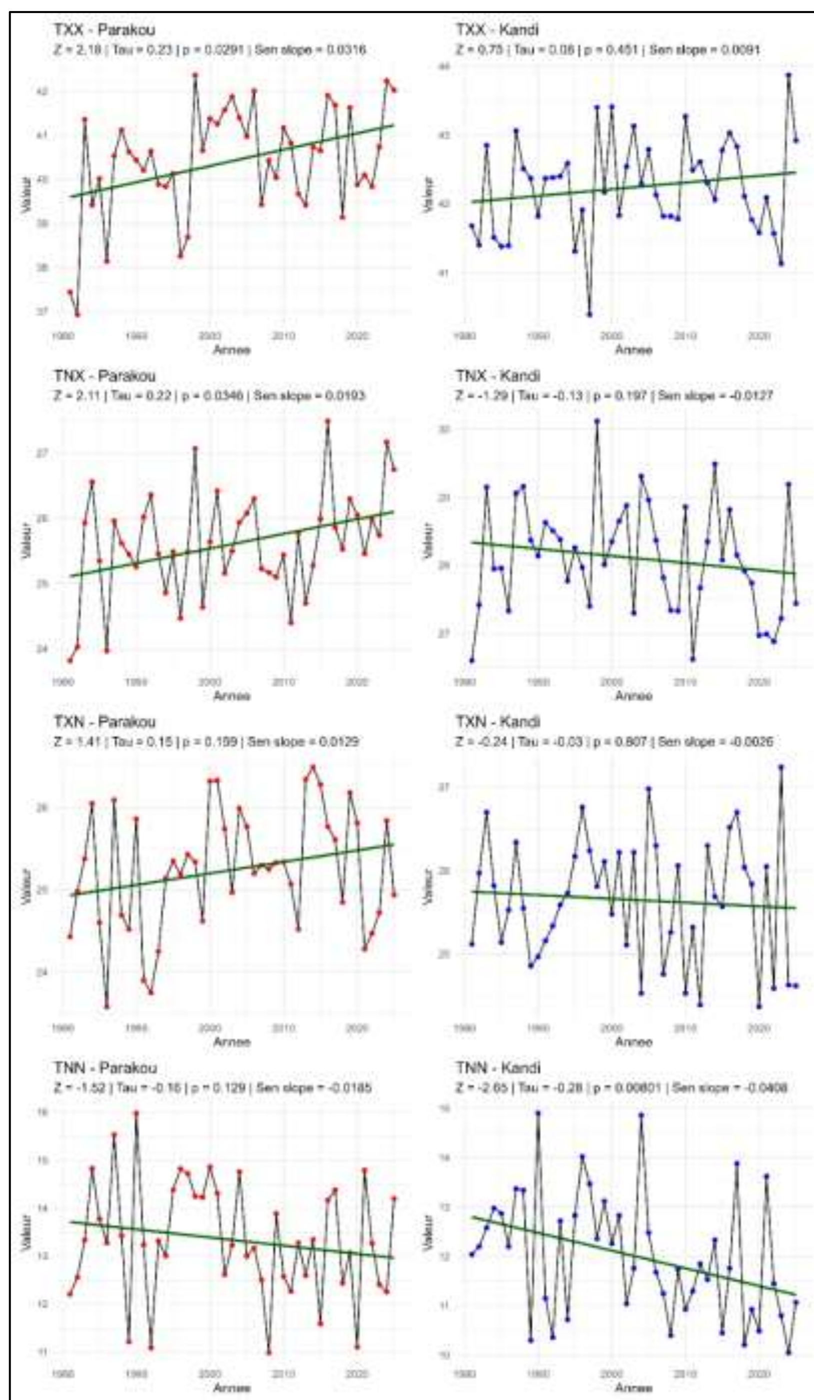


Fig.10 : Tendances et significativités des indices de fréquence de températures extrêmes

À Parakou, les indices TXX et TNX présentent des tendances significatives à la hausse (Z = 2,18 ; p = 0,0291 et Z = 2,11 ; p = 0,0346), avec des pentes de Sen respectives de +0,0316 et +0,0193 par an. Cela indique une augmentation des extrêmes chauds au sud du domaine. À Kandi, ces indices ne montrent pas de tendance significative. Pour les températures minimales annuelles (TNN), la baisse est significative à Kandi (Z = -2,65 ; p = 0,00801 ; pente de Sen = -0,0408), alors qu'elle reste non significative à Parakou. Les indices TXN ne révèlent pas de signal robuste. De ce fait, l'ensemble des résultats illustre qu'il y a un renforcement des extrêmes chauds à Parakou et une baisse des températures minimales extrêmes à Kandi. Cela explique la différenciation spatiale des dynamiques thermiques au nord du Bénin.

3.3. Quantification des changements et leur significativité pour les indices de température

3.3.1. Extrêmes pluviométriques

Les extrêmes pluviométriques représentent les épisodes de fortes précipitations ou de sécheresse marquée observés entre 1981 et 2025 dans le secteur d'étude (tableau II).

Tableau II : Significativités des changements des pluies extrêmes à partir de Mann Kendall

Stations	CDD	CWD	Prcptot	RX1day	RX5day	SDII	R95p	R99p	R1mm	R10mm	R20mm
Bantè	0,7	-1,1	2,5	1,0	0,6	3,0	2,7	3,2	-0,6	2,3	2,7
Bassila	0,1	-0,8	1,7	0,4	0,5	2,5	2,5	2,8	-1,2	1,6	1,8
Djougou	0,9	-0,9	1,6	0,0	0,0	2,7	2,5	3,7	-1,4	1,1	2,0
Glazoue	0,0	-1,8	2,5	1,0	0,5	2,1	3,0	3,7	1,1	0,8	3,2
Gogounou	0,0	-0,4	2,3	-0,4	-0,6	2,4	2,4	3,2	-0,3	1,6	2,0
Kalalé	-0,5	0,2	4,0	-0,7	-0,7	2,5	2,7	3,3	1,4	3,4	2,2
Kandi	0,0	-0,4	2,3	-0,4	-0,6	2,4	2,4	3,2	-0,3	1,6	2,0
Karimama	0,5	0,0	-2,1	-0,6	-1,0	0,4	0,3	2,3	-1,8	-0,5	0,3
Kerou	0,7	-0,7	3,2	-0,2	-0,5	2,8	2,7	3,4	-1,1	2,3	2,2
Kouande	-0,2	-1,5	4,8	-0,5	-0,7	3,1	2,8	4,1	-0,6	3,5	2,9
Malnville	0,5	0,0	-2,1	-0,6	-1,0	0,4	0,3	2,3	-1,8	-0,5	0,3
Materi	-0,3	-1,2	4,6	-0,5	-0,7	3,0	3,3	3,3	-0,1	3,9	2,8
Ndali	0,4	-1,3	3,8	-0,6	-0,8	2,9	2,3	3,1	-0,7	3,0	1,9
Nikki	-1,1	-0,7	3,1	-0,3	-0,5	2,2	1,9	2,5	-0,6	2,1	1,2
Ouessè	0,6	-1,6	1,7	0,6	0,4	1,8	2,7	3,1	0,1	0,2	2,9
Parakou	0,5	-0,4	-0,3	-0,1	-0,1	1,7	1,0	1,8	-1,7	-0,1	0,6
Pehounko	0,3	-0,8	4,3	-0,6	-0,8	3,6	3,4	2,9	-1,1	2,9	2,9
Perere	0,0	-1,0	-0,3	0,1	0,1	0,7	0,8	1,5	-1,5	-0,1	0,7
Savalou	-0,1	-1,4	2,9	1,4	0,8	3,1	2,9	2,8	-0,1	2,7	2,9
Ségbana	0,1	0,7	2,6	-0,2	-0,4	2,4	2,7	3,4	0,2	2,2	2,3
Sinendé	-1,0	-0,7	4,6	-0,1	-0,4	2,8	3,0	3,6	0,5	3,7	2,5
Tanguiéta	1,0	-1,2	2,6	-0,2	-0,6	2,9	2,9	3,3	-1,2	2,4	3,0
Tchaourou	0,5	-0,9	-0,1	0,1	0,2	1,3	1,6	2,4	-1,2	-0,3	1,4

Le test de Mann-Kendall révèle une tendance générale à la hausse des pluies extrêmes sur la majorité des stations du Bénin, avec une tendance significative marquées pour les indices PRCPTOT, RX1day, RX5day, SDII, R95p et R99p. Les stations de Kouandé (PRCPTOT = 4,8), Sinendé (PRCPTOT = 4,6) et Kalalé (PRCPTOT = 4) présentent les augmentations les plus significatives. Cela indique une accentuation des précipitations totales et des jours très pluvieux. Par contre, les indices CDD et CWD montrent des tendances négatives dans plusieurs stations (jusqu'à -1.8 à Glazoué), suggérant une légère réduction de la durée des séquences sèches et humides. Dans l'ensemble du secteur, la variabilité spatiale pluviométrique est plus prononcée dans le Nord (Kouandé, Sinendé, Kalalé) que dans le Sud (Malanville, Parakou).

3.3.2. Extrêmes de températures

Les extrêmes de températures correspondent aux épisodes de chaleurs intenses ou de froids inhabituels observés de 1981 à 2025. Leur analyse a permis d'identifier les changements climatiques et d'évaluer les tendances thermiques (tableau III).

Tableau III : Significativités des changements des indices de température extrême

Indice	Z_MK	Tau_Kendall	Sen_Slope	p_value	Significativité
Parakou					
csdi	-3,71	-0,41	-0,29	0,00	Significatif
su	1,11	0,13	0,00	0,27	Non significatif
Tn90p	4,13	0,43	1,25	0,00	Significatif
Tnn	-1,52	-0,16	-0,02	0,13	Non significatif
Tnx	2,11	0,22	0,02	0,03	Significatif
tr	2,23	0,23	0,54	0,03	Significatif
Tx90p	1,30	0,14	0,39	0,19	Non significatif
Txn	1,41	0,15	0,01	0,16	Non significatif
Txx	2,18	0,23	0,03	0,03	Oui
wsdi	0,76	0,09	0,00	0,45	Non significatif
Kandi					
csdi	-1,48	-0,17	0,00	0,14	Non significatif
wsdi	0,65	0,08	0,00	0,52	Non significatif
su	-1,32	-0,16	0,00	0,19	Non significatif
TN90P	2,86	0,30	0,71	0,00	Significatif
TNN	-2,65	-0,28	-0,04	0,00	Significatif
TNX	-1,29	-0,14	-0,01	0,19	Non significatif
tr	-0,03	0,00	0,00	0,98	Non significatif
TX90P	-0,05	-0,01	-0,01	0,96	Non significatif
TXN	-0,25	-0,03	0,00	0,81	Non significatif
TXX	0,75	0,08	0,01	0,45	Non significatif

Source : *Résultats du traitement des données, février 2026*

À Parakou, plusieurs indices montrent des changements significatifs. L'indice CSDI (séquences froides) diminue fortement (Z = -3,71 ; Sen slope = -0,29 ; p = 0,00), traduisant une réduction des vagues de froid. À l'inverse, TN90P (nuits chaudes) a nettement augmenté (Z = 4,13 ; Sen slope = 1,25 ; p = 0,00), confirmant une intensification des nuits chaudes. De même, TNX (température minimale maximale) et TR (nuits tropicales) sont significatifs (Z = 2,11 et 2,23 ; p = 0,03) et indiquent une hausse des températures nocturnes. Enfin, TXX (maximum absolu des températures) a montré une tendance significative à la hausse (Z = 2,18 ; p = 0,03) des extrêmes chauds. Par ailleurs, SU, TX90P, Txn ou WSDI ne montrent pas une tendance significative de séquences chaudes prolongées. À Kandi, TN90P traduit une augmentation significative (Z = 2,86 ; Sen slope = 0,71 ; p = 0,00) des nuits chaudes. À l'inverse, avec TNN (température minimale absolue) les vagues de froid diminuent significativement (Z = -2,65 ; Sen slope = -0,04 ; p = 0,00). Les indices (SU, TX90P, TXN, TR, TXX, WSDI) présentent une stabilité des extrêmes chauds diurnes et des séquences prolongées. L'analyse de extrêmes de température montre qu'à Parakou, il s'observe une intensification des nuits chaudes (maxima de température), tandis qu'à Kandi, il s'observe une évolution marquée par l'augmentation des nuits chaudes et la baisse des températures minimales extrêmes.

IV. CONCLUSION

Le diagnostic basé sur les indices ETCCDI a montré que le domaine soudanien du Bénin est caractérisé par des pluies plus intenses et des températures plus élevées. En effet, entre 1981 et 2025, les précipitations totales (PRCPTOT) ont connu une augmentation significative à Kouandé (4,8), Matéri (4,6), Sinendé (4,6) et Kalalé (4,0). Les indices de fortes pluies journalières (RX1day, RX5day) ont présenté

une légère baisse. Les indices de pluies intenses (R95p, R99p) ont enregistré une hausse significative qui a atteint 4,1 à Kouandé et 3,9 à Matéri. La fréquence des jours pluvieux (R10mm) a progressé de 3,9 à Matéri et de 3,7 à Sinendé, tandis que les jours très pluvieux (R20mm) culminent à 2,9 à Kouandé et Matéri. De plus, les séquences sèches (CDD) et humides (CWD) ont indiqué une baisse significative surtout sur les stations de Glazoué (-1,8) et de Ouèssè (-1,6). Par ailleurs, les extrêmes de température ont montré qu'à Parakou, les extrêmes chauds s'intensifient avec une hausse significative des nuits chaudes (TN90p = 4,13 ; p = 0,00), des nuits tropicales (TR = 2,23 ; p = 0,03) et du maximum absolu (TXX = 2,18 ; p = 0,03), tandis que les séquences froides diminuent (CSDI = -3,71 ; p = 0,00). À Kandi, l'évolution est plus limitée : seule la hausse des nuits chaudes (TN90p = 2,86 ; p = 0,00) et la baisse des minima extrêmes (TNN = -2,65 ; p = 0,00) sont significatives. Il faut donc adoptées des stratégies d'adaptions et de résilience pour répondre efficacement aux impacts de ces extrêmes qui aggravent les risques auxquelles les ressources naturelles et les communautés locales sont confrontés dans le domaine soudanien au Bénin.

REFERENCES

[1] ADAMOU Moussa, KIKI Gildas Rufin et TOTIN VODOUNON Sourou Henrie, *Analyse des extrêmes climatiques par les indices ETCCDI dans le bassin béninois du Niger*, Revue de Climatologie, N°19, 2022, pp. 60-75.

[2] ALLECHY Fabrice Blanchard, KOUASSI Amani Michel, KOUAKOU Koffi Eugène et KOFFI Yao Blaise, *Application du test de Mann-Kendall à l'analyse des tendances pluviométriques en Côte d'Ivoire*, Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie, N°37, 2021, pp. 95-110.

[3] BEDOUM Armand, KOUMASSI Hervé Degbé et AMOUSSOU Ernest, *Variabilité des extrêmes pluviométriques dans le bassin du Mono au Bénin*, Revue de Géographie, RB, N°20, 2017, pp. 45-60.

[4] DIOP Samba Ba, NDIAYE Ibrahima et FALL Moussa, *Influence des oscillations océanographiques sur les régimes d'inondation en Afrique de l'Ouest*, Journal of Hydrology, Vol. 620, 2025, pp. 3155-3170.

[5] DUMAS Dominique et ROME Sandra, *Détection des tendances dans les séries chronologiques climatiques : application du test de Mann-Kendall*, La Météorologie, N°65, 2009, pp. 145-152.

[6] FILAHI Soufiane, TANARHTE M'hamed et BOUCHAOU Lhoussaine, *Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Morocco*, International Journal of Climatology, Vol. 35, N°3, 2015, pp. 460-475.

[7] FISCRCR (Fédération internationale des Sociétés de la Croix-Rouge et du Croissant-Rouge), *Rapport mondial sur les catastrophes 2020*, Genève, FISCRCR, 2020, 250 p.

[8] FUTURE EARTH, THE EARTH LEAGUE et PMRC Programme Mondial de recherche sur le climat, 10 New Insights in Climate Science 2025, Stockholm, Future Earth, 2025, 48 p.

[9] GOULA Bi Tié Albert, SORO Émile Gneneyougo, KOUASSI Williams et SROHOUROU Bernard, *Tendances et ruptures au niveau des pluies journalières extrêmes en Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest)*, Revue des Sciences Hydrologiques, Vol. 57, N°6, 2012, pp. 1067-1080.

[10] KIKI Gildas Rufin, *Analyse des extrêmes climatiques dans le bassin béninois du Niger à partir des indices ETCCDI*, Mémoire de maîtrise en Géographie, Université d'Abomey-Calavi, 2020, 78 p.

[11] KOUASSI Konan Modeste, KOUAKOU Koffi Eugène et KOFFI Yao Blaise, *Caractérisation des événements pluviométriques extrêmes en Côte d'Ivoire*, Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie, N°31, 2018, pp. 135-150.

[12] KOUMASSI Dègbé Hervé, Diagnostic de l'intensification des extrêmes pluviométriques à Ouedeme (Glazoué) par les indices ETCCDI 1961-2020, Thèse de doctorat en Géographie, Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi, 2025, 210 p.

[13] LCSQA (Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Ai, *Méthodes statistiques pour l'analyse des tendances dans les séries environnementales*, Paris, LCSQA, 2016, 25 p.

[14] MASSOUANGUI-KIFOUALA Martin, *Variabilité climatique et événements extrêmes en Afrique centrale approche par les indices ETCCDI*, Thèse de doctorat en Climatologie, Brazzaville, Université Marien Ngouabi, 2022, 185 p.

[15] NATIONS UNIES, *Objectifs de développement durable : rapport 2015*, New York, USA, 2015, 56 p.

[16] OBADA Ezéchiel, AMOUSSOU Ernest et TOTIN VODOUNON Sourou Henrie, *Application des indices ETCCDI pour la caractérisation des extrêmes climatiques en Afrique de l'Ouest*, Revista de Climatologie, Vol. 21, 2021, pp. 1-15.

[17] OUINAKONHAN Modibo, KIKI Gildas Rufin et ADAMOU Moussa, *Tendances récentes des extrêmes thermiques au Bénin septentrional*, Revue de Climatologie, N°21, 2025, pp. 430-445.

[18] SAHLI Belkacem, *Analyse des tendances climatiques par les indices ETCCDI en Afrique du Nord*, Thèse de doctorat en Climatologie, Alger, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, 2024, 195 p.

[19] SALIFOU Ibrahim, *Caractérisation des événements climatiques extrêmes au Niger par les indices ETCCDI*, Mémoire de maîtrise en Géographie, Niamey, Université Abdou Moumouni, 2020, 72 p.

[20] SARE Boukari Amadou, TOTIN VODOUNON Sourou Henrie et AMOUSSOU Ernest, *Hydroclimatologie et dynamique des écoulements dans le bassin soudanien du Bénin*, Revue de Géographie du Bénin, N°16, 2015, pp. 600-615.

[21] SOUNOUKE Hervé Vinagnon, TOTIN VODOUNON Sourou Henrie et AMOUSSOU Ernest, *Variabilité climatique et impacts socio-économiques dans le Bénin méridional*, Revue de Climatologie, N°18, 2022, pp. 208-225.

[22] STEINMETZ Vincent, *Changements climatiques et événements extrêmes en Afrique : état des connaissances*, Afrique Contemporaine, N°279, 2024, pp. 60-78.
[23] YAROU Halimatou, *Analyse statistique des événements climatiques extrêmes au Bénin par les indices ETCCDI*, Mémoire de maîtrise en Géographie, Université d'Abomey-Calavi, 2021, 85 p.
[24] CHAGNAUD Guillaume. Évolutions du régime pluviométrique au Sahel Ouest-Africain : détection, éléments d'attribution et projections. Météorologie. Université Grenoble Alpes [2020], 2022. Français. ⟨NNT : 2022GRALU027⟩. ⟨tel-04125608⟩, 250 p.
[25] Ministère du Cadre de Vie et du Développement Durable (MCVDD), 2022. Plan national d'adaptation aux changements climatiques du Bénin. Rapport technique, Direction Générale de l'Environnement et du Climat (DGEC), Cotonou, Bénin, 175 p.
[26] Direction générale de l'environnement et du climat (DGEC), 2022. Communication relative à l'adaptation du Bénin au titre de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques. Rapport technique, Direction Générale de l'Environnement et du Climat, Cotonou, Bénin, 131 p.
[27] AROUNA Adam N'djai Arzouma, GBENOU Victorin Vidjannagni, KOUDAMILORO Olivier, VISSIN Expédit Wilfrid, 2024. Indicateurs des risques hydroclimatiques dans les communes de Karimama et Malanville au Nord-Est du Benin. In *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*, Vol. 46 No. 1 August 2024, pp. 484-502. ISSN: 2509-0119. Scholar AI LLC. https://ijpsat.org/
[28] AHODJIDE Soulémane, KOMBIENI Frédéric, OUOROU BARRE Imorou, VODOUNOU Jean-Bosco Kpatindé, 2024. Effets de la variabilité climatique sur l'accès a l'eau potable à Parakou (Bénin). https://revues.acaref.net/wp-content/uploads/sites/3/2024/10/11-, pp. 193-214
[29] KOUTON G. Aristide. Répartition spatio-temporelle des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora au Bénin : trajectoire et vulnérabilité des établissements humains. Sciences de l'environnement. Université d'Abomey-Calavi, 2022.
[30] TOURE Ibrahima, NDIONE Didier Maria, ISSA Leye, SAMBOU Mame Henriette Astou et SANE Moussé Landing, 2022. Analyse des tendances dans les séries pluviométriques au Sénégal. In Afrique SCIENCE 21(1) (2022) 122 - 135 122 ISSN 1813-548X, http://www.afriquescience.net.